Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 1, Spring - Summer 2018, p. 55-66

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد 8، شماره 1، نیمسال اول 1397، ص 66-55

تأثیر افزودن باگاس و فیلترکیک نیشکر و فرآیند تر و خشک شدن بر تنش پیش- تراکمی خاک

زهرا نعمتی[1]- عباس همت[2*]- محمدرضا مصدقی[3]

تاریخ دریافت: 1394/10/10
تاریخ پذیرش: 1395/06/24

چکیده

یکی از روش‌های اصلاح کیفیت فیزیکی خاک‌های مزارع نیشکر، افزودن باگاس و فیلترکیک (از محصولات جانبی کارخانه تولید شکر) به خاک است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی تأثیر افزودن بقایا (باگاس و فیلترکیک) در دو سطح 1 و 2 درصد بر مقاومت فشاری یا تنش پیش- تراکمی (σ_{pc}) یک خاک لوم رسی سیلتی تهیه شده در دو سطح رطوبت نسبی ۰/۹PL و 1/1PL (PL: حد خمیری) و تحت دو فرآیند با و بدون تر و خشک شدن بود. تنش پیش- تراکمی خاک به روش آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در هر دو سطح رطوبت و هر دو حالت با و بدون تر و خشک شدن، افزودن بقایا به خاک موجب کاهش σ_{pc} گردید. در تیمارهای بدون بقایا (شاهد)، افزایش رطوبت نسبی از 0/9PL به 1/1PL، موجب کاهش شدید σ_{pc} گردید (36٪ کاهش در مقابل 4٪ برای خاک تیمارشده با بقایا) که نشانگر کم بودن ماده آلی و پایداری کم ساختمان خاک مورد آزمایش می‌باشد. اگرچه افزودن بقایا موجب کاهش σ_{pc} گردید، اما نوع و درصد بقایا و رطوبت مورد استفاده در این پژوهش تغییر معنی‌داری در σ_{pc} نمونه‌هایی که با بقایا تیمار شده بودند ایجاد نکرد. بنابراین، برای جلوگیری از تراکم مجدد و بهبود ساختمان خاک، پیشنهاد می‌شود که از سیستم کنترل ترافیک با مسیرهای دائمی برای تردد ماشین‌ها در مزارع نیشکر استفاده شود و بقایا (پس از شورزدایی) به نوارهایی که تحت کشت قرار می‌گیرند، افزوده شود.

واژه‌های کلیدی: آزمایش نشست صفحه‌ای، بقایای گیاهی، تر و خشک شدن، تنش پیش‌تراکمی، مقاومت فشاری

مقدمه

از یک سو ساختمان ضعیف به علت کم‌بودن ماده آلی خاک و از سوی دیگر عملیات سنگین تهیه زمین، آب‌شویی و تسطیح در کشت نیشکر باعث تخریب ساختمان خاک شده و خاک را در هنگام عملیات برداشت مستعد فشردگی می‌کند (Sharifi Malvajerdi *et al.*, 2013; Veisi Tabar, 2010). بنابراین، خاک‌های مزارع نیشکر به علل دوام چندساله گیاه در زمین و برداشت محصول با ماشین‌های برداشت و واگن‌های حمل نی سنگین و همچنین هم‌زمان شدن قسمتی از برداشت محصول با شرایط رطوبتی نامناسب خاک شدیداً متراکم هستند. حساسیت خاک‌های زیر کشت نیشکر به تراکم، نه تنها به بارهای تراکمی اعمال‌شده توسط ماشین‌های سنگین، بلکه به نوع ماده مادری، بافت، مقدار رطوبت، مواد آلی، پایداری ساختمان خاک و شوری و قلیاییت خاک بستگی دارد (Barzegar *et al.*, 2000).

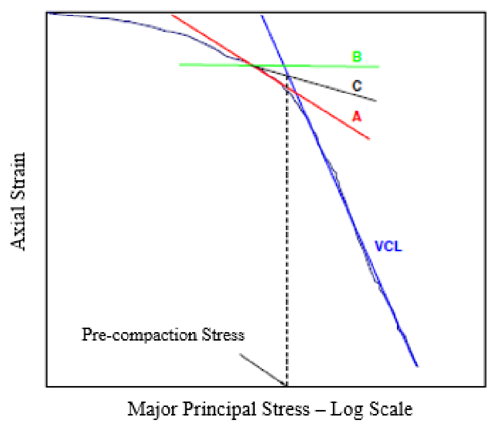
تر و خشک شدن با ایجاد تنش درونی در خاک ساختمان فیزیکی آن را تغییر می‌دهد. وقتی خاک تحت چند چرخه تر و خشک شدن قرار گیرد، خاک تمایل به تشکیل خاکدانه، ترک‌های ریز و منافذ درشت دارد. وقتی بارهای خارجی به چنین خاک‌هایی وارد می‌شود آن‌ها معمولاً تغییر شکل می‌دهند و در حالت ترد می‌شکنند (Braunack *et al.*, 1975). ریچاردسون دریافت که تر و خشک شدن در خاک بدون خاک‌دانه موجب خاک‌دانه‌سازی می‌شود؛ بنابراین، برای بازسازی برخی از صدمات ساختمانی خاک استفاده می‌شود (Richardson, 1976).

تعیین درجه تراکم‌پذیری خاک، نیازمند تعیین شاخصی برای نشان‌دادن مقدار تغییر در ویژگی‌های خاک در اثر بارگذاری فشاری خاک است. در گذشته از شاخص‌های فیزیکی خاک هم‌چون چگالی ظاهری، تخلخل، نسبت پوکی و اندازه منافذ برای تعیین تراکم‌پذیری خاک استفاده شده است (Davies, 1985). از شاخص‌های مکانیکی مهمی که اغلب به‌عنوان معیار برای ارزیابی فشردگی‌پذیری خاک استفاده می‌شود تنش پیش- تراکمی (σ_{pc}) است. بنابراین، در کشاورزی باید از تنش‌های بزرگ‌تر از تنش پیش- تراکمی اجتناب شود (Dias Junior, 2003). تنش پیش- تراکمی در خاک رویین

1 و 2- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
3- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: ahemmat@cc.iut.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v8i2.61479

منتنج از تنش‌های اعمالی توسط تردد ماشین‌های کشاورزی، عملیات سست و نرم کردن خاک و تغییر در ساختمان به دلیل فرآیندهای تر و خشک کردن است (Rücknagel *et al*., 2007).

روش‌های متعددی برای تعیین ظرفیت باربری خاک وجـود دارد. یکی از راه‌های بررسی تراکم‌پذیری و انـدازه‌گیـری ظرفیـت بـاربری خاک، آزمایش صفحه بارگذاری (PST) می‌باشد. بـا اسـتفاده از ایـن آزمایش، امکان تخمین تـنش پـیش- تراکمـی در محـل وجـود دارد (Alexandrou and Earl, 1995). در این آزمایش بر یـک صـفحه روی سطح خاک، بارگذاری قائم صـورت گرفتـه و نشسـت عمـودی اندازه‌گیری شده و منحنی بار- نشست ترسیم می‌گردد، که رفتار خاک را در برابر تنش نشان می‌دهد (Keller *et al*., 2004). متداول‌تـرین روش برای استخراج تنش پیش- تراکمـی از منحنـی بـار- نشسـت، روش ترسیمی کاسـاگراند (Casagrande, 1936) اسـت. اولـین بـار کاساگراند روشی برای یافتن بیشینه فشاری که در گذشته بـه خـاک اعمال شده پیشنهاد کرد که از روی منحنی نسـبت پـوکی-لگـاریتم تنش، تعیین می‌شود. با توجه به شکل 1، چنانچه از نقطه‌ای که انحناء منحنی بیشینه است، مماسی بر منحنی رسم شده (خط A) و نیمساز (خط C) زاویه بین این مماس و خـط افقـی عبورکننـده (خـط B) از همان نقطه‌ای که انحناء منحنی بیشـینه بـود، ترسـیم گـردد، نقطـه برخورد این نیمساز با امتداد مستقیم‌الخط نمودار (خط فشردگی بکـر؛ VCL) نشان‌دهنده بیشینه فشار مؤثری است که در گذشته بـر ایـن خاک وارد آمـده اسـت کـه آن را در خـاک‌هـای اشـباع و غیراشـباع بـه‌ترتیـب فشـار پـیش- تحکیمـی و پـیش- تراکمـی مـی‌نامنـد (Mosaddeghi *et al*., 2007). به فشار پیش- تراکمی، تنش پیش- فشردگی نیز گفته می‌شود.



شکل 1- تعیین تنش پیش-تراکمی خاک به روش کاساگراند (Hemmat *et al*., 2009)

Fig. 1. Determining pre-compaction stress by casagrande method

فیلتر کیک و باگاس در مقادیر زیاد حاصل از عملیات شربت‌گیری از نی و در راستای تهیه شکر تولید می‌شوند، که از آن‌ها به‌عنوان مواد آلی برای اصلاح و تقویت خاک‌ها می‌توان استفاده نمود. فیلتـرکیـک قدرت نگه‌داشت آب در خاک را افزایش می‌دهد و همچنین اثر مثبتی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپـذیری، جریـان آب و توزیـع رطوبت در خاک می‌گـذارد (Abdollahy *et al*., 2008). باگـاس از نظر فیزیکی شبیه کاه و کلش گندم ولی خشبی‌تر و ضخیم‌تر و دارای نسبت C/N حدود 150 و فیلترکیک شبیه پیت و دارای نسـبت C/N حدود 30 است (Sayaad and Kazemy, 2001). باگـاس، تفالـه‌ای است که پس از شربت‌گیری از ساقه نیشکر بـه شـکل تـوده فیبـر و متراکم و به‌صورت قطعات ریز تراشه چوب و به رنگ زرد کاهی است. فیلترکیک یک محصول جانبی صنعت شکر است که در طـی فرآینـد رسوب‌گذاری و تصفیه شربت به‌دست می‌آیـد (Bijan Pour *et al*., 2009). با توجه به مشکلات تراکم خـاک در مـزارع نیشـکر و تولیـد باگاس و فیلترکیک به‌عنوان محصولات فرعی کارخانـه‌هـای تولیـد نیشکر که در نزدیک مزارع واقع هستند، اهمیـت بررسـی تـأثیر ایـن پس‌ماندها بر چگونگی تغییر ظرفیـت بـاربری خـاک مـزارع نیشـکر دوچندان می‌شود. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بررسـی تـأثیر افزودن بقایا (باگاس و فیلترکیک) در سـطوح مختلـف (صـفر، 1 و 2 درصد) بر فشردگی‌پذیری و ظرفیت باربری (تـنش پـیش- تراکمـی) یک خاک با بافت غالب (لوم رسی سیلتی) در زمین‌های زیـر کشـت نیشکر تحت چرخه‌های تر و خشک شدن (5 سـیکل) در دو رطوبـت 0/9PL (PL: حد خمیری) و 1/1PL بود.

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک شاهد (بدون بقایا)[1]

Table 1- Some of the physical and mechanical characteristics of the control (soil without residues)

بافت Texture	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	PL	LL	SL	PI	FI
لوم رسی سیلتی Silty clay loam	31.5	53.3	15.2	18.3	29.8	7.6	11.5	**10.7**

[1] PL، LL، SL، PI و FI به‌ترتیب بیان‌کننده حد خمیری، حد روانی، حد انقباض، شاخص خمیری و شاخص تردی است که همگی به‌صورت درصد بیان شده‌اند.

PL= Plastic limit, LL= liquid limit SL= Shrinkage limit, PI=Plasticity Index, FI= Friability Index (%).

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های خاک مورد بررسی

برای انجام این پژوهش، خاک مورد نیاز از لایه سطحی (صفر تا 20 سانتی‌متری) یک خاک با بافت لوم رسی سیلتی و با چگالی ظاهری خشک طبیعی $1/37\ g.cm^{-3}$ تهیه گردید. مکان نمونه‌برداری خاک، مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان (لورک نجف‌آباد) بود. خاک مورد آزمایش جزء فامیل فاین- لومی، میکسد، ترمیک تیپیک هاپل آرجید[1] است و در سری خاک خمینی‌شهر قرار می‌گیرد (Lakzian, 1989).

بافت خاک به روش پیپت تعیین گردید. حدود پایداری خاک شامل: حد روانی (LL)، حد خمیری (PL) و حد انقباض (SL) به روش استاندارد BS (15) اندازه‌گیری شد. تفاوت LL و PL به‌عنوان شاخص خمیری (PI) و تفاوت PL و SL به‌عنوان شاخص تردی (FI) محاسبه گردید. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک در جدول 1 آورده شده است.

آماده‌سازی و روش اعمال تیمارهای آزمایشی

برای انجام آزمایش‌ها، خاک سطحی و بقایای مورد استفاده (باگاس و فیلترکیک) هوا- خشک شده، و از الک 2 میلی‌متر عبور داده شدند. بقایا نیز به نسبت مورد نظر (1 و 2 درصد) با خاک مخلوط شدند سپس نمونه‌ها به دو روش زیر آماده گردید: در تیمارهای گروه اول که بدون تر و خشک شدن بود، با توجه به حجم ظرف آزمایش (قطر 25 و ارتفاع 8 سانتی‌متر) و چگالی مرطوب $1/5\ g.cm^{-3}$ و نیز دو سطح رطوبتی 0/9PL و 1/1PL، همچنین دو نوع بقایا (باگاس و فیلتر کیک) مقدار آب و خاک مورد نظر (خاک به‌همراه بقایا) محاسبه گردید. رطوبت‌های مورد نظر بدین دلیل انتخاب شدند که 0/9PL بیان‌گر رطوبت مناسب جهت عملیات خاک‌ورزی و 1/1PL بیان‌گر رطوبت زیاد (خاک تر) باشند.

در تیمارهای گروه دوم که نمونه‌ها تحت 5 چرخه تر و خشک شدن قرار گرفتند؛ پس از محاسبه مقدار آب و خاک، خاک به درون ظرف آزمایش ریخته شد. خاک به‌صورت لایه لایه (سه لایه 2/7 cm) درون ظرف ریخته شده و پس از هر بار سطح خاک با کاردک صاف شد تا ارتفاع آن به 8 cm رسیده و چگالی مرطوب مورد نظر ایجاد گردد. سپس سطح خاک با یک روکش پلاستیکی که روی آن سوراخ‌هایی قرار داشت پوشانده شد. با توجه به اهمیت EC آب مورد استفاده در سخت‌شدگی خاک و همچنین متغیر بودن EC آب آبیاری مورد استفاده در مزارع نیشکر ($1\text{-}2/5\ ds.m^{-1}$)، آبی با EC برابر با $1/69\ ds.m^{-1}$ تهیه گردید. خاک همراه ظرف وزن شده و به درون آون با دمای 40 درجه سانتی‌گراد (میانگین دمای فصل رشد مزارع نیشکر) منتقل گردید. پس از گذشت 24 ساعت، نمونه‌ها مرتباً وزن شدند تا زمانی‌که رطوبت آنها به 0/7 درصد FC (مقدار رطوبت خاک در موقع آبیاری) رسید. از چرخه اول به بعد، برای رساندن مجدد رطوبت نمونه‌ها به FC، مقدار آب مورد نیاز محاسبه شده و آب با استفاده از آب‌افشان به نمونه‌ها افزوده شد و ظرف مجدداً درون آون قرار گرفت. مراحل مرطوب و خشک کردن هر ظرف خاک، با توجه به نوع نمونه در مدت 25-15 روز انجام گرفت. در آخرین چرخه، خشک‌کردن نمونه‌ها تا زمانی‌که رطوبت نمونه‌های خاک به 0/9PL یا1/1PL برسد، ادامه یافت. سپس نمونه‌ها با پارچه مرطوب و روکش پلاستیکی پوشانده شد و به مدت 24 ساعت باقی ماند تا رطوبت به‌طور یکنواخت در آن توزیع گردد. در این پژوهش، نمونه‌های خاک با و بدون 5 چرخه تر و خشک شدن به‌ترتیب به‌عنوان خاک‌های ساختمان‌دار و دست‌خورده (بازسازی شده) در نظر گرفته شد.

آزمایش نشست صفحه‌ای

آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) در مرکز همه نمونه‌های خاک انجام شد. برای انجام این آزمایش از یک صفحه دایره‌ای فلزی صلب به قطر 50 mm استفاده گردید. این صفحه در مرکز نمونه قرار گرفت و سپس بارگذاری توسط سیلندر دستگاه CBR و با سرعت $1\ mm.min^{-1}$ در دقیقه و تا تنش محوری 200 kPa انجام شد. پس از انجام این آزمایش، یک نمونه جهت اندازه‌گیری چگالی ظاهری و همچنین تعیین تغییر ریز ساختار خاک پس از تر و خشک شدن از اطراف نمونه بزرگ برداشته شده و وزن شد و تا 24 ساعت در آون با دمای 105 قرار گرفت. همچنین منحنی لگاریتم تنش عمودی- نشست خاک رسم گردید و با روش کاساگراند (شکل 1)،

[1] 1- Fine-loamy, mixed, thermic Typic Haplargids

تنش پیش- تراکمی خاک (σ_{pc}) به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، تأثیر دو نوع بقایا (باگاس و فیلترکیک) در دو سطح (1 و 2 درصد) و در دو سطح رطوبت نسبی (مرطوب و تر به‌ترتیب برابر 0/9PL و 1/1PL) و با/ بدون فرآیند تر و خشک شدن بر σ_{pc} با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بررسی شد. همچنین برای مقایسه تیمار شاهد (بدون بقایا) با تیمارهای آزمایشی از طرح کاملاً تصادفی نامتعادل با 20 تیمار استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن اثر هر عامل یا اثر متقابل آنها، میانگین آن‌ها با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال 5 درصد با یکدیگر مقایسه شدند. از نرم‌افزارهای SAS و Excel برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

حدود پایداری و گنجایش مزرعه‌ای (FC) خاک با و بدون بقایا با درصدهای مختلف در جدول 2 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن بقایا به خاک، درصد رطوبت در حدود LL ،PL و FC تمایل به افزایش دارد. با افزایش کربن آلی خاک ظرفیت نگه‌داری خاک افزایش می‌یابد (Hemmat *et al*., 2010).

جدول 2- درصد وزنی رطوبت در حدود پایداری و گنجایش مزرعه‌ای خاک در سطوح مختلف بقایا

Table 2- Gravitational water contents of soil consistency limits and field capacity at different levels of residues

حدود پایداری و گنجایش مزرعه‌ای Consistency limits and field capacity	خاک بدون بقایا Control	1% باگاس 1% Bagasse	2% باگاس 2% Bagasse	1% فیلترکیک 1% Filter Cake	2% فیلترکیک 2% Filter Cake
LL	29.8	32.1	35.0	33.2	33.5
PL	18.3	23.4	23.5	22.7	24.8
PI	11.5	8.7	11.5	10.5	8.7
FC	24.3	25.0	28.2	27.2	28.8

LL، PL، PI و FC به‌ترتیب نشان‌دهنده حد روانی، حد خمیری خاک، شاخص خمیری و گنجایش مزرعه‌ای خاک می‌باشند.

LL= liquid limit; PL=Plastic Limit; PI=Plastic Index; FC=Field Capacity

تأثیر عوامل آزمایشی بر تنش پیش-تراکمی خاک

در قسمت اول این بخش، بدون در نظر گرفتن تیمار شاهد (خاک بدون بقایا)، تأثیر عوامل آزمایشی شامل: تر و خشک شدن، نوع و مقدار بقایا و رطوبت خاک بر پارامترهای مقاومت خاک بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) نشان داد که اثر تر و خشک شدن بر تنش پیش- تراکمی (σ_{pc}) در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود. اما اثر نوع و مقدار بقایا و رطوبت خاک بر σ_{pc} معنی‌دار نبود. با فرآیند تر و خشک شدن، چگالی ظاهری خاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (از 1/28 به 1/24 گرم بر سانتی‌متر مکعب) (جدول 3)؛ یعنی حجم منافذ خاک زیادتر و در نتیجه سطح تماس ذرات با هم کم‌تر شد. تنش پیش-تراکمی نمونه‌های خاک با 5 چرخه تر و خشک شدن نسبت به حالت بدون تر و خشک شدن به اندازه 30/3 درصد و به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول 4). بنابراین، در اثر پوک‌شدن احتمالاً مقاومت فشاری (تنش پیش- تراکمی) خاک کاهش یافت. تر و خشک شدن به خاک دست‌خورده دوباره ساختار می‌دهد؛ در نتیجه آن، تخلخل را افزایش و چگالی ظاهری خاک را کاهش می‌دهد و این تغییرات در ساختمان خاک می‌تواند توجیهی برای کاهش تنش پیش- تراکمی در اثر فرآیند تر و خشک شدن باشد (Schäffer *et al*., 2010). چانی و سوفت (1986) گزارش کردند که چرخه‌های تر و خشک موجب ایجاد خاکدانه‌ها می‌شوند (Chaney and Swift, 1986). برخی محققین (Horn and Dexter, 1989; Hofman, 1976) افزایش خاکدانه‌سازی را با تر و خشک شدن گزارش کردند.

اثر متقابل دوگانه تر و خشک شدن و درصد بقایا، نوع بقایا و رطوبت، و نوع و درصد بقایا بر تنش پیش-تراکمی در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار بود. در حالی‌که اثر متقابل دوگانه تر و خشک شدن و نوع بقایا، تر و خشک شدن و رطوبت، و رطوبت و درصد بقایا بر این پارامتر معنی‌دار نبود. با تر و خشک شدن نمونه‌ها نسبت به حالت بدون تر و خشک شدن در هر دو سطح بقایا (1 و 2 درصد) تنش پیش- تراکمی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 2).

در حالت بدون تر و خشک شدن با افزایش درصد بقایا از 1 به 2 درصد این پارامتر تغییر نکرد؛ اما در حالت با تر و خشک شدن با افزایش درصد بقایا از 1 به 2 درصد این پارامتر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل 2). افزایش رطوبت از 0/9PL به 1/1PL در حضور باگاس موجب افزایش تنش پیش- تراکمی شد.

جدول 3- تغییرات چگالی ظاهری ($g.cm^{-3}$) خاک‌های شاهد (بدون بقایا) و تیمار شده با بقایا در دو حالت با و بدون تر و خشک شدن

Table 3- Changes in bulk density ($g.cm^{-3}$) of the control and treated soils with residues and with/without wetting and drying

	تر و خشک شدن Wetting and drying	
تیمار Treatment	بدون Without	با With
شاهد (بدون بقایا) Control (without residue)	1.28[a]	1.24[b]
خاک تیمار شده با باگاس (Soil treated by bagasse)	1.27[a]	1.23[b]
خاک تیمار شده با فیلترکیک (Soil treated by filter cake)	1.28[a]	1.25[b]

[+] میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ردیف که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Means of each experimental factor followed by the same letters in each row are not significantly different according to LSD test at the P<0.05%.

جدول 4- تأثیر تر و خشک شدن، نوع و درصد بقایا و رطوبت نسبی خاک بر تنش پیش- تراکمی (kPa) تعیین‌شده با آزمایش نشست صفحه‌ای (PST)[+]

Table 4- Effect of wetting and drying, residue percent and type, and soil relative moisture content on pre-compaction stress (kPa) measured by PST

عوامل آزمایشی Experimental factors	تنش پیش-تراکمی Pre-compaction stress
تر و خشک شدن Wetting and drying	
بدون Without	77.5[a]
با With	54.0[b]
نوع بقایا Residue type	
باگاس bagasse	63.9[a]
فیلترکیک Filter cake	67.5[a]
درصد بقایا Residue percent	
1%	67.9[a]
2%	63.6[a]
رطوبت نسبی خاک Soil relative moisture	
0.9PL	67.1[a]
1.1PL	64.4[a]

[+] میانگین‌های هر عامل آزمایشی در هر ستون که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

PL: حد خمیری خاک.

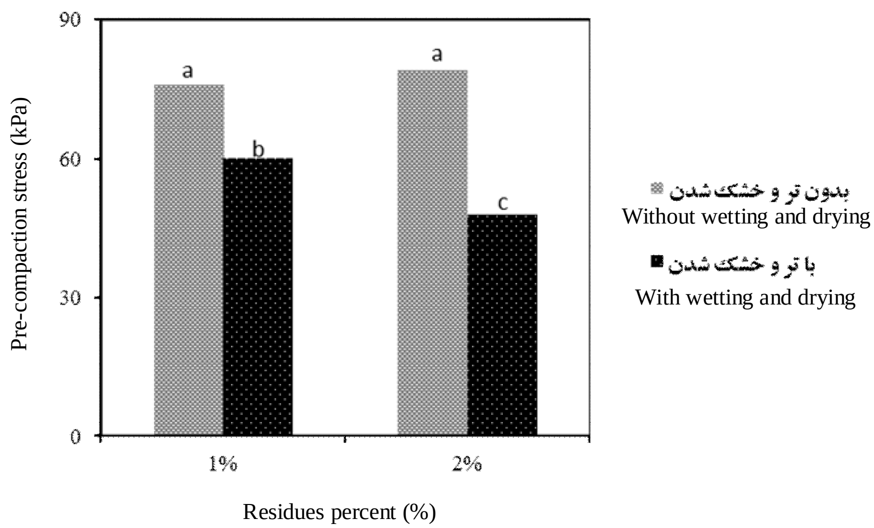
Means of each experimental factor followed by the same letters in each column are not significantly different according to LSD test at P < 0.05%.

PL=Soil plastic limit

در ژئوتکنیک، برای افزایش مقاومت فشاری خاک در جاده‌های روستایی، الیاف‌های طبیعی یا مصنوعی به خاک اضافه می‌کنند. در این حالت، خاک مانند یک کامپوزیت عمل می‌کند. تحقیقات نشان داد که با اضافه کردن این مواد الیافی به خاک، رطوبت بهینه که در

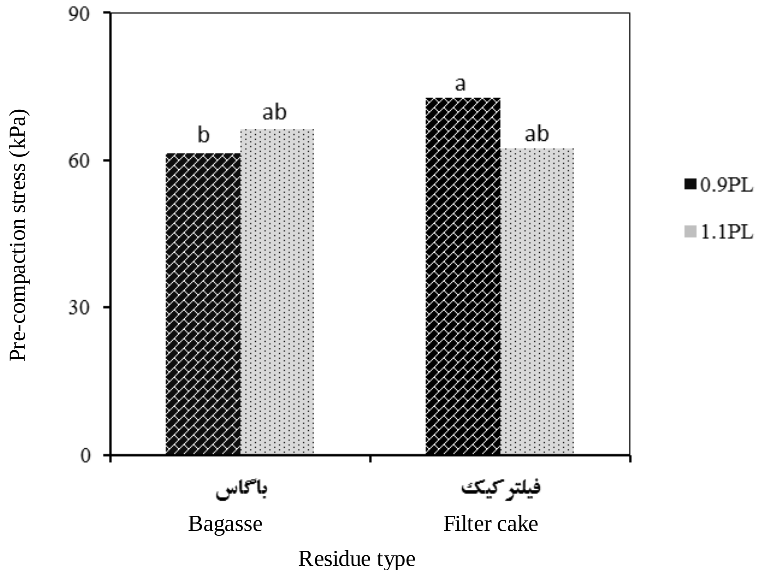
آن تراکم بیشینه است، افزایش می‌یابد (Gosavi *et al.*, 2004). احتمالاً این پدیده در خصوص خاک تیمار شده با باگاس صادق باشد. در حالی‌که در خاک تیمار شده با فیلتر کیک، افزایش رطوبت موجب کاهش این پارامتر گردید؛ ولی در هر دو حالت این تغییر معنی‌دار نبود (شکل 3). افزایش درصد باگاس افزوده‌شده به خاک، تنش پیش- تراکمی را افزایش داد که این افزایش معنی‌دار نبود. در حالی‌که با افزایش درصد فیلتر کیک، تنش پیش- تراکمی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. احتمالاً به دلیل ریز بودن ذرات فیلتر کیک (پس از عبور از الک 2 میلی‌متر) و قرارگیری آنها در بین ذرات خاک، تماس و توهم‌رفتگی ذرات خاک کم شده و در نتیجه مقاومت خاک کاهش یافت (شکل 4). به‌طور کلی، اگر افزودن بقایا به خاک موجب افزایش مقاومت پیوند و اصطکاک در سطح مشترک بین سطوح قطعات بقایای اضافه شده به خاک و ذرات رس خاک شوند، می‌توان انتظار داشت که افزودن بقایا به خاک (مسلح کردن خاک) موجب افزایش تنش پیش- تراکمی (مقاومت فشاری) خاک شود (Ayininuola and Oladotun, 2016).

به‌جز اثر متقابل سه‌گانه تر و خشک شدن، رطوبت و درصد بقایا که بر تنش پیش- تراکمی در سطح احتمال 5 درصد معنی‌دار بود، بقیه اثرهای متقابل سه‌گانه بر این پارامتر معنی‌دار نبود. اثر متقابل سه‌گانه تر و خشک شدن، رطوبت و درصد بقایا بر تنش پیش- تراکمی خاک نشان می‌دهد (جدول 5) که در هر سطح از بقایا و در هر حالت با/ بدون تر و خشک شدن، با افزایش رطوبت، مقاومت فشاری خاک کاهش و یا تغییر نیافت. زیرا با تغییر وضعیت رطوبتی از مرطوب (0/9PL) به تر (1/1PL)، مکش رطوبتی در غشاء رطوبتی ایجاد شده بین ذرات خاک کاهش یافته و در نتیجه مقاومت خاک کم می‌شود. تر و خشک شدن به علت ایجاد ترک و شکاف و پوک شدن خاک، موجب کاهش معنی‌دار تنش پیش-تراکمی خاک شد. در حالت با تر و خشک شدن، با افزایش رطوبت تنش پیش- تراکمی تغییر نکرد. در حالت بدون تر و خشک شدن، با افزایش بقایای افزوده شده به خاک در حالت مرطوب (0/9PL) تنش پیش- تراکمی به‌طور معنی‌داری افزایش و در حالت تر (1/1PL) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در رطوبت‌های کمتر از حد خمیری، افزایش درصد بقایا احتمالاً می‌تواند در افزایش پیوند بین ذرات خاک و مقاومت فشاری خاک نقش داشته باشد. در صورتی‌که در رطوبت‌های بیشتر از حد خمیری (خاک تر)، دور شدن ذرات خاک به علت افزایش ضخامت لایه رطوبتی در اطراف ذرات خاک به حدی است که کم (1%) یا زیاد (2%) بودن بقایا نقش چندانی در تغییر مقاومت فشاری خاک ندارد و این رطوبت است که مقاومت خاک را کنترل می‌کند. در حالت با تر و خشک شدن، با افزایش درصد بقایا در هر دو سطح رطوبت، تنش پیش- تراکمی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. تر و خشک شدن و افزایش بقایا موجب ایجاد ترک و شکاف و کاهش بیشتر تماس بین ذرات خاک شده (خاک پوک‌تر شده) و در نتیجه مقاومتش کاهش می‌یابد.



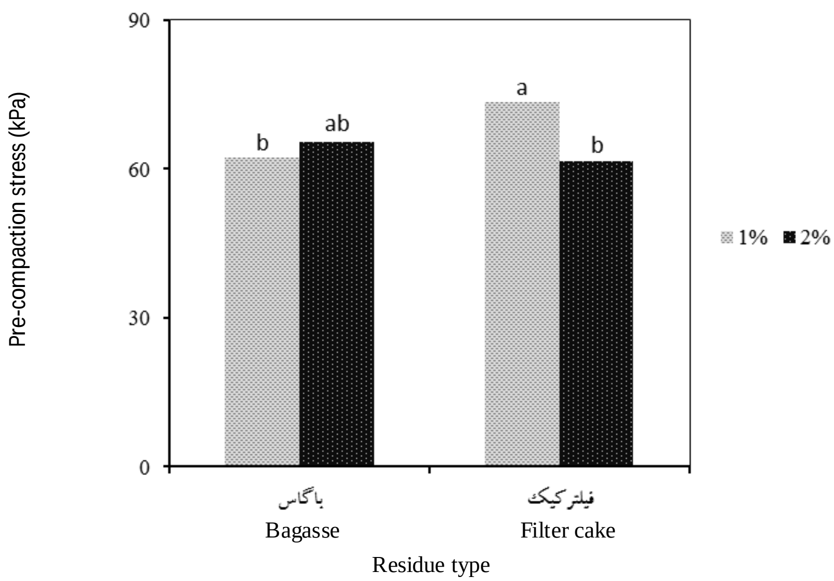
شکل 2- اثر متقابل تر و خشک شدن و درصد بقایا بر تنش پیش-تراکمی خاک. میانگین‌هایی که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 2. Interaction effect of the residue percentage and wetting and drying on pre-compaction stress. Means followed by the same letters are not significantly different according to LSD test at $P<0.05$.



شکل 3- اثر متقابل نوع بقایا و رطوبت بر تنش پیش-تراکمی. میانگین‌هایی که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 3. Interaction effects of the moisture and residue type on pre-compaction stress. Means followed by the same letters are not significantly different according to LSD test at *P*<0.05.



شکل 4- اثر متقابل نوع و درصد بقایا بر تنش پیش-تراکمی خاک. میانگین‌هایی که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند.

Fig. 4. Interaction effects of the percent and type of residues on pre-compaction stress. Means followed by the same letters are not significantly different according to LSD test at *P*<0.05.

جدول5- اثر متقابل تر و خشک شدن، رطوبت و درصد بقایا بر میانگین + تنش پیش- تراکمی (kPa)

Table 5- Interaction effect of the percent of residues, moisture and wetting and drying on means of pre-compaction stress (kPa)

تر و خشک شدن Wetting and drying							
با With				بدون Without			
1.1PL		0.9PL		1.1PL		0.9PL	
2%	1%	2%	1%	2%	1%	2%	1%
50.0[e]	58.2[d]	45.9[e]	61.8[d]	69.9[c]	79.4[b]	88.6[a]	72.0[c]

+ میانگین‌هایی که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. PL: حد خمیری خاک.

Means followed by the same letters are not significantly different according to LSD test at $P<0.05$. PL= Plastic limit.

تأثیر عوامل آزمایشی بر خواص فشردگی خاک بدون بقایا (تیمار شاهد)

با توجه به نتایج به‌دست آمده اثر رطوبت بر تنش پیش- تراکمی خاک بدون بقایا در سطح احتمال 1 درصد معنی‌دار بود، اما اثر تر و خشک شدن بر این پارامتر معنی‌دار نبود. با افزایش رطوبت خاک از 0/9PL به 1/1PL تنش پیش-تراکمی به اندازه 36 درصد و به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول 6). اثر متقابل دوگانه تر و خشک شدن و مقدار رطوبت بر تنش پیش- تراکمی تیمار شاهد معنی‌دار نبود.

جدول 6- تأثیر تر و خشک شدن و رطوبت خاک بر تنش پیش- تراکمی + (kPa) تعیین شده با آزمایش نشست صفحه‌ای (PST) در تیمار بدون بقایا (شاهد)

Table 6- Effect of soil moisture and wetting and drying on pre-compaction stress determined by PST test for treatment without residue (control)

عوامل آزمایشی Experiment factors	تنش پیش-تراکمی Pre-compaction stress
تر و خشک شدن Wetting and drying	
بدون Without	97.8[a]
با With	78.6[a]
رطوبت نسبی خاک Soil relative moisture	
0.9 PL	107.5[a]
1.1 PL	68.8[b]

+ میانگین‌های هر عامل آزمایشی که در یک حرف لاتین مشترکند، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال 5٪ بر اساس آزمون LSD ندارند. PL: حد خمیری خاک.

Means of each experiment factor followed by the same letters in each column are not significantly different according to LSD test at $P<0.05$. PL= Plastic limit.

با افزودن بقایا به خاک شاهد (بدون بقایا، جدول 7) در هر دو حالت با و بدون تر و خشک شدن تنش پیش- تراکمی به‌ترتیب به اندازه 31/3 و 20/7 درصد کاهش یافت. اضافه کردن بقایا می‌تواند موجب کاهش تماس ذرات خاک و در نتیجه باعث کاهش مقاومت فشاری خاک شود. با تر و خشک کردن خاک تیمار شده با بقایا، پوک شدن و کاهش تماس ذرات خاک به‌علت ظهور شکاف و ترک، تشدید می‌شود. همچنین تنش پیش- تراکمی در هر دو رطوبت 0/9PL و 1/1PL با افزودن بقایا به خاک شاهد به‌ترتیب به اندازه 37/6 و 6/5 درصد کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد در حالتی که رطوبت خاک از حد خمیری بیشتر شود (خاک تر)، دور شدن ذرات خاک به علت افزایش ضخامت لایه رطوبتی در اطراف به حدی است که وجود یا عدم بقایا نقش چندانی در کاهش تماس ذرات و در نتیجه مقاومت خاک ندارد (فقط 6/5٪). در جدول 7، علامت منفی نشان‌دهنده کاهش تنش پیش- تراکمی در اثر افزودن بقایا به خاک است.

جدول 7- درصد تغییرات تنش پیش-تراکمی (kPa) با افزودن بقایا به خاک

Table 7- Percentage changes in pre-compaction stress (%) by adding residues to the soil in PST test

	تنش پیش-تراکمی Pre-compaction
عوامل آزمایشی Experiment factors	**درصد تغییرات Changes (%)**
تر و خشک شدن Wetting and drying	
بدون Without	-20.7
با With	-31.3
رطوبت نسبی خاک Soil relative moisture	
0.9 PL	-37.6
1.1 PL	-6.5

نتیجه‌گیری

در اکثر موارد، افزودن بقایا بـه خـاک موجـب کـاهش معنـی‌دار مقاومت مکانیکی (تنش پیش- تراکمی) خاک گردید. در تیمار شـاهد (بدون بقایا) با افزایش رطوبت از 0/9PL به 1/1PL مقاومـت خـاک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با تر و خشک شدن (خاک با بقایـا)، تنش پیش- تراکمی (σ_{pc}) خاک به علت ایجاد ترک و شکاف و پوکی خاک، به اندازه 30/3 درصد کـاهش یافـت. در خـاک بـا سـاختمان ضعیف، تر و خشک شدن احتمالاً منجر به خاکدانه‌سازی و در نهایت کاهش مقاومت خاک می‌شود. در حالـت بـا تـر و خشـک شـدن، بـا افزایش درصـد بقایـا در هـر دو حالـت مرطـوب و تـر، σ_{pc} بـه‌طـور معنی‌داری کاهش یافت. در حالت بدون تر و خشک شدن، با افزایش درصد بقایا در حالت مرطوب (0/9PL)، σ_{pc} به‌طور معنی‌دار افزایش و در حالت تر (1/1PL) σ_{pc} به‌طور معنی‌دار کاهش یافـت. بـا افـزایش فیلتر کیک از 1 به 2 درصد مقاومت خاک به تـراکم کـاهش یافـت. برای مدیریت تراکم خاک‌هایی که بقایای گیاهی (ماننـد فیلترکیـک پس از شورزدایی) به‌منظور اصلاح ساختمان آن‌ها افزوده شده توصیه می‌شود، که از سیستم کنترل ترافیک با مسیرهای دائمی برای تـردد ماشین‌ها در مزارع نیشکر استفاده شود و بقایا (پس از شورزدایی) بـه نوارهایی که تحت کشت قرار می‌گیرند، افزوده شود.

References

1. Abdullahy, L., A. Moezie, H. Aameri Khah, A. Khadem Alrasoul, and A. Bavi. 2008. Changes in soil infiltration as affected by Bagasse and Filter cake used as organic fertilizer. The second National Conference on Management of Irrigation and Drainage Network, Shahid Beheshti University, Ahvaz, Iran. (In Farsi).
2. Alexandrou, A., and R. Earl. 1995. In situ determination of the pre-compaction stress of a soil. Journal of Agricultural Engineering Research 61: 67-72.
3. Ayininuola, G. M., and P. O. Oladotun. 2016. Geotechnical properties of coconut coir fiber soil mixture. Journal of Civil Engineering Research 26 (4): 79-85.
4. Barzegar, A. R., M. A. Asoodar, and M. Ansari. 2000. Effectiveness of sugarcane residue incorporation at different water contents and the Proctor compaction loads in reducing soil compactibility. Soil and Tillage Research 57: 167-172.
5. Bijan Pour, H., F. Bahadouri, M. A. Macvandi, and M. S. Ansari. 2009. Effect of Filter cake and Bagasse on growth and yield of Sugar cane. National Conference on Water, Soil and Agricultural Mechanization. Islamic Azad University, Dezful Branch, 20-21 March, 2010. (In Farsi).
6. Braunack, M. V., J. S. Hewitt, and A. R. Dexter. 1975. Fracture of soil aggregates and the compaction of aggregates. Journal of Soil Science 30: 653-667.
7. Casagrande, A. 1936. The determination of pre-consolidation load and its practical significance. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 22-26 June, Cambridge, MA, 3: 60-64.

8. Chaney, K., and R. S. Swift. 1986. Studies on aggregate stability: I. Reformation of soil aggregates. Journal of Soil Science 37 (2): 329-335.
9. Davies, P. 1985. Influence of organic matter content, moisture status and time after reworking on soil shear strength. Journal of Soil Science 36: 299-306.
10. Dias Junior, M. S. 2003. A soil mechanics approach to study soil compaction and traffic effect on the pre-consolidation pressure of tropical soils. Lectures given at the College on Soil Physics, Federal University of Lavras, Brazil, Trieste, 3-21 March. PP. 113-137.
11. Gosavi, M., K. A. Patil, S. Mittal, and S. Saran. 2004. Improvement of properties of black cotton soil subgrade through synthetic reinforcement. Journal of the Institution of Engineers (India) 84: 257-262.
12. Hemmat, A., N. Aghilinategh, Y. Rezainejad, and M. Sadeghi. 2010. Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. Soil and Tillage Research 108: 43-50.
13. Hemmat, A., M. Tahmasebi, M. Vafaeian, and M. R. Mosaddeghi. 2009. Relationship between pre-compaction stress and shear strength under confined and semi-confined loadings for a sandy loam soil. Biosystems Engineering 102: 219-226.
14. Horn, R., and A. R. Dexter. 1989. Dynamics of soil aggregation in an irrigated desert loess. Soil and Tillage Research 13: 253-266.
15. Hofman, G. 1976. The influence of drying and storing soil samples on aggregates stability. Mededelingen van Faculteit Landbouwwettenschappen Rijks-universiteit Gent 41: 102-106.
16. Keller, T., J. Arvidsson, J. B, Dawidowski, and A. J. Koolen. 2004. Soil pre-compression stress II. A comparison of different compaction tests and stress-displacement behavior of soil during wheeling. Soil and Tillage Research 77: 97-108.
17. Lakzian, A. Genesis and classification of Lavark soil. Unpublished M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Iran; 1989. (In Farsi).
18. Mosaddeghi, M. R., A. J. Koolen, A. Hemmat, M. A. Hajabbasi, and P. Lerink. 2007. Comparisons of different procedures of pre-compaction stress determination on weakly structured soils. Journal of Terramechanics 44: 53-63.
19. Richardson, S. J. 1976. Effect of artificial weathering cycles on the structural stability of a dispersed silt soil. Journal of Soil Science 27 (2): 287-294.
20. Rücknagel, J., B. Hofmann, R. Paul, O. Christen, and K. J. Hülsbergen. 2007. Estimating pre-compression stress of structured soils on the basis of aggregate density and dry bulk density. Soil and Tillage Research 92: 213-220.
21. Sayaad, G. A., and H. Kazemi. 2001. Effect of Sugarcane Bagasse on some soil physical properties. Water and Soil Science 15: 57-67. (In Farsi).
22. Schäffer, B., P. Boivin, and R. Schulin. 2010. Compressibility of repacked soil as affected by wetting and drying between uniaxial compression tests. Soil Science Society of America Journal 74: 1483-1492.
23. Sharifi Malvajerdi, A., M. Younesi Alamouti, and A. Mohsenimanesh. 2013. The effect of load and inflation pressure of a stiff-carcass tyre on selected soil compaction related factors. Journal of Agricultural Machinery 3 (1): 1-8. (In Farsi).
24. Veisi Tabar, A. 2010. Topsoil and Subsoil Bearing Capacity Assessment with Plate Sinkage Test under Different Ratoon Crops in a Sugarcane Field. Unpublished M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology of Isfahan. (In Farsi).

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 1, Spring - Summer 2018, p. 55-66

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد 8، شماره 1، نیمسال اول 1397، ص 66-55

Effect of Adding Sugarcane Bagasse and Filter Cake and Wetting and Drying Cycles on Pre-Compaction Stress of Soil

Z. Nemati[1]- A. Hemmat[2*]- M. R. Mosaddeghi[3]
Received: 30-12-2016
Accepted: 30-05-2017

Introduction

The compaction of soil by agricultural equipment has become a matter of increasing concern because compaction of arable lands may reduce crop growth and yield, and it also has environmental impacts. In nature, soils could be compacted due to its own weights, external loads and internal forces as a result of wetting and drying processes. Soil compaction in sugarcane fields usually occurs due to mechanized harvesting operations by using heavy machinery in wet soils. Adding plant residues to the soil can improve soil structure. To improve soil physical quality of sugarcane fields, it might be suggested to add the bagasse and filter cake, which are the by-products of the sugar industry, to the soils.

When a soil has been compacted by field traffic or has settled owing to natural forces, a threshold stress is believed to exist such that loadings inducing lower than the threshold cause little additional compaction, whilst loadings inducing greater stresses than the threshold cause much additional compaction. This threshold is called pre-compaction stress (σ_{pc}). The σ_{pc} is considered as an index of soil compactibility, the maximum pressure a soil has experienced in the past (i.e. soil management history), and the maximum major principal stress a soil can resist without major plastic deformation and compaction. Therefore, the main objective of this study was to investigate the effects of wetting and drying cycles, soil water content, residues type and percent on stress at compaction threshold (σ_{pc}).

Materials and Methods

In this research, the effect of adding sugarcane residues (i.e., bagasse and filter cake) with two different rates (1 and 2%) on pre-compaction stress (σ_{pc}) in a silty clay loam soil which was prepared at two relative water contents of 0.9PL (PL= plastic limit, moist) and 1.1PL (wet) with or without wetting and drying cycles. This study was conducted using a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. A composite disturbed sample of topsoil (0–200 mm deep) of a silty clay loam soil was collected from Isfahan province (32°31.530′N; 51°49.40′E) in center of Iran. The mean annual precipitation and temperature of the region are about 160 mm and 16 °C, respectively. Sugarcane residues (bagasse and filter cake) were obtained from the sugarcane fields in Ahvaz, Khuzestan province (Iran). The samples were air-dried and passed through a 2-mm sieve. Soil treated by bagasse and filter cake in different rates was poured and knocked lightly into cylinders with diameter and height of 25 and 8 cm, respectively. Large air-dry disturbed soil samples were prepared and some of them were exposed to five wetting and drying cycles. Finally, the soil surface was covered by a plastic sheet and was left overnight in the laboratory (for 24 hours) to enable the moisture to equilibrate. The loading tests were performed the next day. The pre-compaction stress was determined by plate sinkage test (PST). The loading test for PST was performed using CBR apparatus. The compression for PST was continuous at the same constant displacement rate of the CBR (i.e. 1 mm min^{-1}). Determination of the σ_{pc} was done using Casagrande's graphical estimation procedure (Casagrande, 1936) in a program written in MatLab software.

Results and Discussion

The results showed that σ_{pc} was significantly decreased by adding residues to the soil at both water contents, and with/without wetting and drying process. For untreated treatments (control), the σ_{pc} decreased with increasing water content. Although σ_{pc} decreased with adding the residues to the soil, however, the effect of

1 and 2- Former Graduate Student and Professor, respectively, Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan
3- Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan
(*- Corresponding Author Email: ahemmat@cc.iut.ac.ir)

residue types and percentages and soil water content on σ_{pc} was not significant for the soil samples treated with residues.

Conclusions

In order to prevent re-compaction of the soil and improve its structure, it is suggested that traffic control system with permanent routes for the movement of machinery to be used in sugar cane plantations and the residues (after desalination) to be added into strips that are placed under cultivation.

Keywords: Compressive strength, Plant residues, Plate sinkage test, Pre-compaction stress, Plant residues, Wetting and drying